不同处理对桢楠和浙江楠裸根移栽成活率与生理特性的影响

朱司甲，黄扬，郑文俊*

（桂林理工大学 旅游与风景园林学院，植物与生态工程学院，广西 桂林，541004）

摘　要：为了探究保水剂和 ABT 联合处理后对桢楠（ZN）和浙江楠（ZJN）裸根苗移栽成活率和生理特性的影响，该文使用三种不同浓度的保水剂和 ABT 联合处理 ZN 和 ZJN 裸根苗，测定移栽后的幼苗成活率和生理指标，并对各指标进行综合评价，评估不同条件处理下幼苗恢复情况。结果表明：与对照组相比，联合处理后，ZN 和 ZJN 的成活率显著提高；ZN 新叶数量显著增加，ZJN 的新叶数量没有增加；叶绿素和类胡萝卜素含量均显著提高，且 ZN1 或ZJN1 水平更显著；$(GA_3+ZR+IAA)/ABA$ 和 IAA/ABA 的比值均显著提高，但 ZN 在不同浓度处理间无显著差异，而 ZJN1 显著高于 ZJN2 处理组；可溶性蛋白和可溶性糖的含量均减少。隶属函数综合评价分析表明裸根苗移栽成活率的表现分别为 ZN1>ZN2>CK　和ZJN1>ZJN2>CK。总之，保水剂和 ABT 联合处理促进 ZN 和 ZJN 裸根苗移栽成活，且 ZN1 或ZJN1 水平更优。

关键词：桢楠，浙江楠，保水剂，ABT，裸根移植，隶属函数值

中图分类号：Q945　　　　　　　　　　**文献标识码**：A

Effects of different treatments on survival rate and physiological characteristic of *Phoebe zhennan* and *Phoebe chekiangensis* seedling with bare-root transplanted

ZHU Sijia, HUANG Yang, ZHENG Wenjun *

(*College of Tourism & Landscape Architecture, College of Plant & Ecological Engineering, Guilin University of Technology*, Guilin 541004, Guangxi, China)

Abstract: This study aims to explore the effect of combination of three different concentrations of super-absorbent polymer and ABT on the survival rate and physiological characteristics of bare root seedlings transplanted with *Phoebe zhennan* (ZN) and *P. chekiangensis* (ZJN). The *P*. *zhennan* and *P. chekiangensis* bare root seedlings were treated with three different concentrations of super-absorbent polymer combined with ABT rooting powder, and the survival rate and physiological indexes after transplanting of seedlings were measured. Then, all indexes were comprehensively evaluated to decide the recovery of seedlings under different conditions by the membership function analysis. The results were as follows: Compared to the control group, the survival rates of ZN and ZJN were significantly increased under the treatment; The number of new leaves in ZN was increased, while there was no differences in the number of new leaves in ZJN; The contents of chlorophyll and

基金项目：国家重点研究计划课题（2019YFC0507503）：漓江流域喀斯特自然景观修复与植被生态功能提升关键技术研发及试验示范[Supported by the National Key Research and Development Program (2019YFC0507503); R & D and Experimental Demonstration of Key Technologies for Karst Landscape Restoration and Vegetation Ecological Function Improvement in Lijiang River Basin]。

作者简介：朱司甲（1992-），硕士，助教，主要从事高校思想政治教育、园林植物研究，(E-mail) 672499723@qq.com。

***通信作者**：郑文俊，博士，教授，博士研究生导师，研究方向为风景园林，(E-mail) 149480860@qq.com。

carotenoid were significantly increased, especially in ZN1 group or ZJN1 group; The values of $(GA_3+ZR+IAA)/ABA$ and IAA/ABA in ZN and ZJN were significantly elevated, there were no significant differences between different treatments in ZN, whereas the value was higher in ZJN1 than those in the ZJN2 treatment group; The contents of soluble protein and soluble sugar were significantly decreased; The membership function analysis showed that the ranking of survival rate of the transplanted bare root seedlings were ZN1>ZN2>CK and ZJN1>ZJN2>CK, respectively. In conclusion, the combination treatment of super-absorbent polymer and ABT promoted the survival of ZN and ZJN bare root seedlings, and the level of ZN1 or ZJN1 was better.

Key words: *Phoebe zhennan*, *Phoebe chekiangensis*, super-absorbent polymer, ABT, bare-root transplanted, membership function analysis

桢楠(*Phoebe zhennan*)和浙江楠(*Phoebe chekiangensis*)为樟科(Lauraceae)楠属(*Phoebe*)植物，在我国贵州、四川、重庆、湖北等地有少量天然分布，属于渐危树种。其树干通直，树形优美，枝叶稠密，常年翠绿，具有较高的观赏和园林景观绿化应用价值(南程慧等, 2018)。桢楠和浙江楠材质优良，不易腐烂不易被虫蛀，且伴有幽香，被广泛应用于商业市场高端木材生产。尽管近年来国内对园林树种的幼苗移栽成活研究有了较大的进步，例如系统地综述了提高园林苗木移栽成活率的因素和策略；黄铭星等（2013）探讨了施用人工菌剂对圆齿野鸦椿幼苗移栽后成活和各项生理指标的影响，但是有关桢楠和浙江楠的裸根苗移栽成活率提高的研究仍然滞后，对缩短其移栽后缓苗期的研究更鲜有报道（刘志雄等, 2011），而技术缺陷在极大程度上限制了桢楠和浙江楠的开发推广和应用。因此，为了满足市场需求，急需开发能有效提高桢楠和浙江楠幼苗移栽成活的新方法。

裸根苗移栽和恢复过程中，植株会面临断根、失水、擦伤、根际环境突变等不利条件，有学者认为这种现象可以称为移栽胁迫（transplanting stress）(Mena-Petite et al., 2006)。这些胁迫导致植株体内的稳态环境改变，包括叶绿素含量下降、可溶性糖和可溶性蛋白积累增加等（苏亚拉其其格等, 2019），进而造成植物死亡、生长停滞或生长不正常等现象，严重限制了植物移栽后成活和恢复（Nowak & Shulaev, 2003）。因此，裸根移栽过程中可以通过监测植物的生理生化指标从而判断植株的生长情况。近年来裸根苗移栽的研究较多，例如，使用不同生长调节剂处理二年生甜樱桃裸根苗，移栽后检测幼苗的成活率、生长量、叶绿素含量和叶片含水量等指标，探究最佳生长调节剂和最适处理水平（王秀梅等, 2018）。田间实验通过测定可溶性糖和可溶性蛋白含量评估壮苗素对油菜移栽成活率的影响（姚艳丽等, 2008）。因此，在探究桢楠和浙江楠幼苗移栽过程中，可通过检测叶绿素含量、可溶性糖和可溶性蛋白含量以及内源激素的含量来综合评估桢楠和浙江楠裸根苗移栽后的成活率和恢复情况。

近年来，多项研究表明保水剂和 ABT 可用于提高苗木移栽过程中的成活率。例如，实验发现保水剂处理可以提高狗牙根幼苗移栽过程中匍匐茎发芽率、发芽势与发芽指数以及根系生长，显著促进狗牙根的移栽成活（曹昀等, 2019）。Cui et al. (2011)发现保水剂处理不仅促进了苹果等水果苗木的生根和幼苗生长，提高了成苗率和成苗质量，而且降低了苗木成本。类似的，单独使用 ABT 也可促进园林树木的幼苗移栽成活。例如，Zhu et al. (2017)使用不同浓度 ABT No.l 处理银杏苗时发现，ABT No.1 能促进银杏生根但随着 ABT No.1 生根粉浓度的增加，生根率先升高后降低。不仅如此，研究表明保水剂和 ABT 联合处理对幼苗移栽成活的效果更佳。例如刘大辉等（2018）发现 ABT 处理和保水剂联合处理能显著增加闽南楠幼苗移栽成活率。干旱地区华北驼绒藜移栽联合使用保水剂和 ABT 显著提高春季和秋季移栽苗的成活率（孙海莲等, 2012）。总之，上述研究表明保水剂和 ABT 对植物移栽后存活具有保护作用。然而，保水剂和 ABT 联合使用对桢楠和浙江楠裸根苗移栽的影响尚不清楚。

因此，该文旨在探究不同浓度保水剂和 ABT 联合处理对桢楠和浙江楠裸根苗移栽成活和

恢复的影响，并通过检测成活率、新叶数、十项生理指标，以及隶属函数分析定量评估该种影响。该文为桢楠和浙江楠移栽后恢复提供理论支撑和实践指导，促进其推广应用。

1 材料与方法

1.1 实验材料

该研究的所有植物实验材料，取自湖北省荆州市长江大学太湖科技园(111°15′—114°05′ E、29°26′—31°37′ N)，其生长势一致（平均苗高：72.3±0.3 cm，平均地径：3.85±0.24 cm）的 4 年生桢楠和浙江楠幼苗。该区属于北亚热带季风湿润气候，年平均气温为 15.9~16.6 ℃，无霜期 242~263 d，年均日照时数 1 800~2 000 h，年降水量 1 100~1 300 mm。该地区立地条件好，比较适合楠木生长。

1.2 实验处理

2017 年 3 月 17 日取桢楠（ZN，后同）和浙江楠（ZJN，后同）幼苗各 300 株，所有幼苗移栽前处理除去不良叶片及幼苗底部叶片，余下叶片剪半，并去除不良断根坏根。两种苗木均随机平均分成 3 组（每组 100 株），具体处理见表 1，以空白处理为对照（CK）。

表 1 实验分组和处理

Table 1 Experimental groups and treatments

分组 Group	处理 Treatment			
	保水剂 Super-absorbent polymer ($g \cdot L^{-1}$)	粘合剂 Adhesion agent ($g \cdot L^{-1}$)	ABT ($g \cdot L^{-1}$)	泥浆水（体积比）Muddy water (v：v)
ZN1、ZJN1	20	10	1	2:1
ZN2、ZJN2	10	5	0	2:1
ZNCK、ZJNCK	0	0	0	2:1

按照上述分组处理楠木幼苗，每组处理幼苗根部放入已配置好的泥浆试剂中浸泡 30 min，完成后将浸泡过的幼苗根部用塑料薄膜包裹，并用泥浆水涂抹幼苗枝干以达到保水效果，运至苗圃地完成移栽。每隔一周用配置相对应的泥浆水涂抹移栽苗枝干，并且重复此操作至 2017 年 9 月度过当地旱季，移栽完成时浇足水分。之后所有苗木实行统一无差别的日常浇水，不另做其他管理，最后于 2018 年 11 月 5 日取样。此外，另取 ZN 和 ZJN 各 100 株于同一苗圃生长，不做任何处理，分别记为 ZN 组和 ZJN 组。移栽后的幼苗种植在长江大学农业产业科技园楠木种质资源基地中，该地区与材料来源所在地相近，因此移栽种植地的生境条件并未发生明显改变，也较大程度控制了环境因素的影响。

取样时分组收集当年生健康无病害叶片，迅速冻存于携带的冰盒中，然后转移至-80 ℃超低温冰箱中长期保存，用于后续分析。取样后一周内完成所有指标的测定。

1.3 实验测定指标和方法

1.3.1 移栽苗的成活率和新叶数

基于事实观察并计数各组 ZN 和 ZJN 的成活数量以及新叶数量。

1.3.2 移栽苗叶片生理指标检测

叶绿素含量及类胡萝卜素（CAR）的含量使用分光光度法测定(单和卫等, 2007)，计算方法参照张苏州和蒋明（2014）的研究；可溶性糖和可溶性蛋白的含量分别采用考马斯亮蓝 G-250 染色和蒽酮比色法测定（王学奎，2015）；植物内源激素的含量使用长江大学园艺园林学院的高效液相色谱仪检测，参数设置参照课题组 Wang et al. (2013)的方法。

1.4 数据统计与处理

该研究中所有数据均使用 Origin 2019 分析和作图。数据统计使用 Duncan 法多重比较，$P<0.05$ 认为具有统计学意义，实验数据均用平均值±标准误表示。为了降低实验材料个体差异

以及人为造成的误差等，提高数据的置信度，该研究引入差异系数（*R*），以及隶属函数（*U*）对两种浓度保水剂和 ABT 联合处理下的桢楠和浙江楠叶片生理指标进行综合评价，整体评价实验结果。具体公式如下：

$$Rij = |(Xij-Nj)/Nj|$$

式中：*Rij* 为 *i* 组别 *j* 指标的差异系数（*R*）；*Xij* 为 *i* 组别 *j* 指标的测定值；*Nj* 为正常植株 *j* 指标的测定值。

根据隶属函数对不同处理下的桢楠和浙江楠叶片生理指标进行综合评价，对其同正常植株叶片生理状态的差异系数进行排序。具体公式如下：

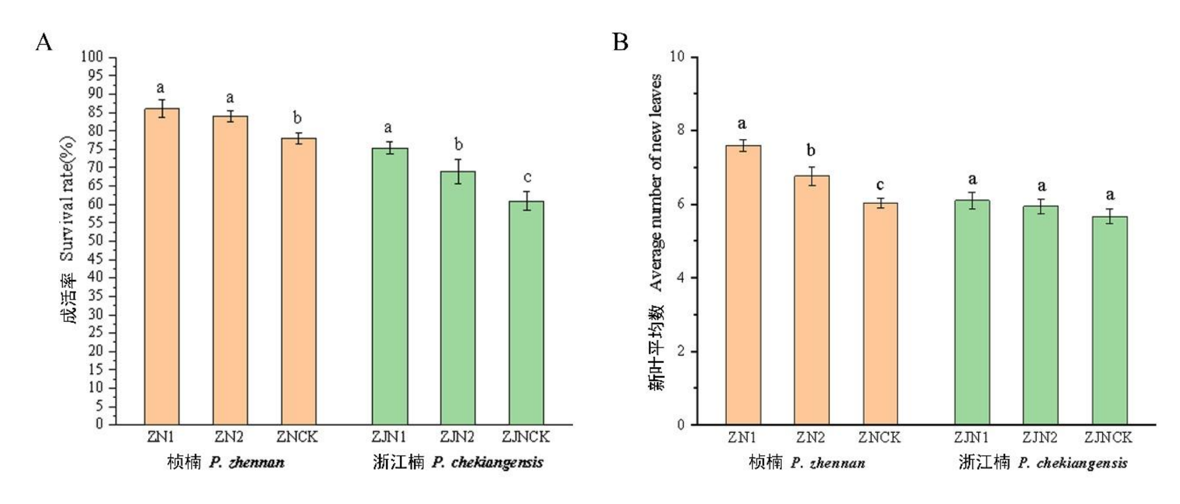
$$U_{ij}=(X_{ij}-X_{imin})/(X_{imax}-X_{imin})$$

式中：U_{ij} 为 *i* 组别 *j* 指标的隶属函数值；X_{ij} 为 *i* 组别 *j* 指标的测定值；X_{imin} 和 X_{imax} 分别为各组别指标的最小值和最大值。求得各植物种类的隶属函数值的平均值，进行差异系数的排序。

2 结果与分析

2.1 保水剂和 ABT 联合处理促进成活率和新叶数

如图 1 所示，桢楠幼苗 ZN1 处理组的成活率和新叶数均高于 ZN2 处理组，并且显著高于 CK 组，这表明保水剂和 ABT 联合处理在两种水平均可促进幼苗移栽后的成活和生长，且在 ZN1 水平效果更显著。浙江楠幼苗 ZJN1 处理组的成活率显著高于 ZJN2 处理组和 CK 组，但是三种处理的新叶数量无显著差异，这表明保水剂和 ABT 联合处理只对促进移栽后成活有影响（图 1）。此外，总体上看，同组处理的桢楠幼苗的成活率和新野数均高于浙江楠。



不同小写字母表示不同处理下存在显著性差异(P<0.05)。下同。

Different lowercase letters indicate that there are significant differences under different treatments (P<0.05). The same below.

图 1 保水剂和 ABT 联合处理下桢楠（ZN）和浙江楠（ZJN）移栽的成活率(**A**)和新叶数(**B**)

Fig.1 Survival rate (**A**) and average new leaves (**B**) of two bare-root transplanted of *Phoebe zhennan* and *P. chekiangensis* under combined treatment of super-absorbent polymer and ABT

2.2 保水剂和 ABT 联合处理促进光合色素含量

如图 2 所示，无论是桢楠还是浙江楠，ZN1 或 ZJN1 处理组的叶绿素和类胡萝卜素含量均显著高于 ZN2 或 ZJN2 处理组，且高于 CK 组。这提示保水剂和 ABT 联合处理在两种水平下均可促进移栽后幼苗的光合作用，并在 ZN1 或 ZJN1 水平下效果更显著。此外，总体上看，同组别处理的桢楠幼苗的光合色素含量均高于浙江楠。

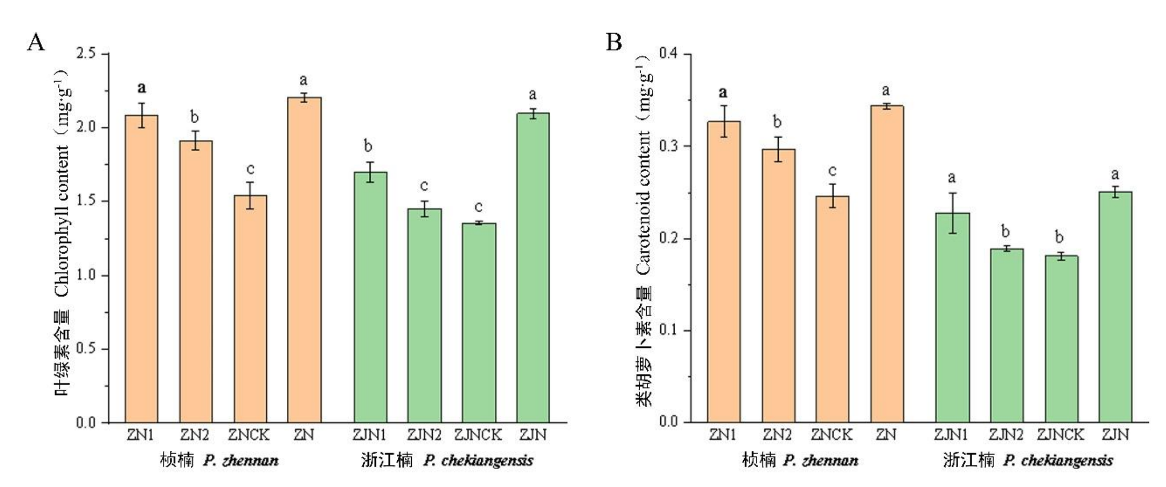


图 2 保水剂和 ABT 联合处理下桢楠（ZN）和浙江楠（ZJN）裸根移植幼苗的叶绿素(**A**)和类胡萝卜(**B**)含量

Fig.2 Chlorophyll (**A**) and carotenoid (**B**) of two bare-root transplanted of *Phoebe zhennan* and *P. chekiangensis* under combined treatment of super-absorbent polymer and ABT

2.3 保水剂和 ABT 联合处理对内源激素的影响

该研究测定了保水剂和 ABT 联合处理后桢楠和浙江楠的 4 种主要植物激素的水平，考虑到激素的协同作用，使用 GA_3，IAA，ZR 水平的总量与 ABA 的比值，以及 IAA 与 ABA 的比值作为最终的参考依据。如图 3 所示，桢楠中 $(GA_3+ZR+IAA)/ABA$ 和 IAA/ABA 的水平在 ZN1 处理组和 ZN2 处理组均无显著差异，但是都显著高于 CK 组。在浙江楠中，ZJN1 处理组的 $(GA_3+ZR+IAA)/ABA$ 和 IAA/ABA 的水平均显著高于 ZJN2 处理组。这些结果表明 ZN1 和 ZN2 两种处理水平均可有效提高桢楠促生长的内源激素分泌，然而，浙江楠幼苗移栽后只有 ZJN1 水平的处理有促进效果。此外，总体上看，同组别处理的桢楠幼苗和浙江楠幼苗中的内源激素含量的比值无差异。

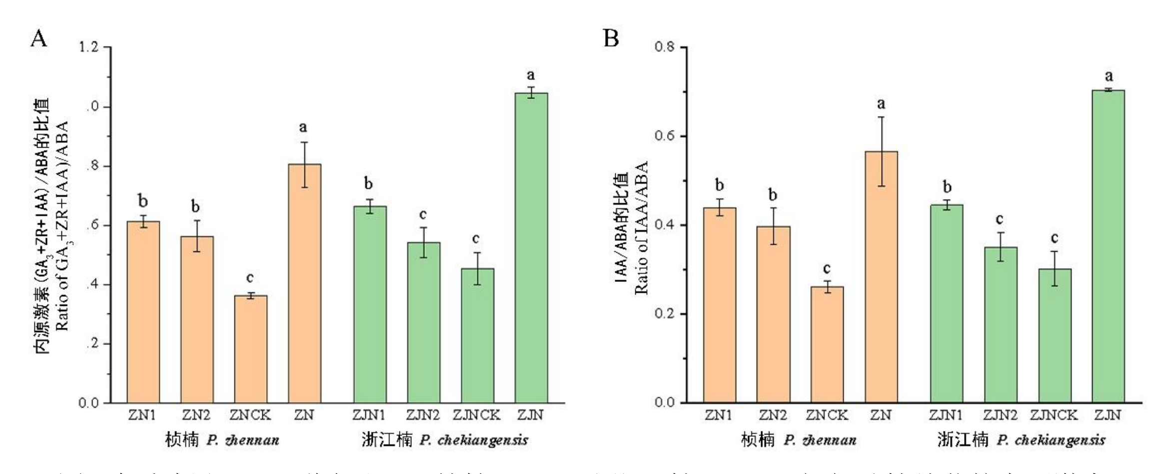


图 3 保水剂和 ABT 联合处理下桢楠（ZN）和浙江楠（ZJN）裸根移植幼苗的内源激素 $(GA_3+ZR+IAA)/ABA$ 的比值(**A**)和 IAA/ABA 的比值(**B**)

Fig.3 Ratios of endogenous hormones of $(GA_3+ZR+IAA)/ABA$ (**A**) and IAA/ABA (**B**) in two bare-root transplanted of *Phoebe zhennan* and *P. chekiangensis* under combined treatment of super-absorbent polymer and ABT

2.4 保水剂和 ABT 联合处理减少渗透物质含量

如图 4 所示，与 CK 处理组相比，ZN1 或 ZJN1 水平联合处理后显著减少两种渗透物质的含量，ZN2 或 ZJN2 水平处理也在一定程度上降低了可溶性糖和可溶性蛋白含量，但并不显著。这些结果表明 ZN1 或 ZJN1 水平的保水剂和 ABT 联合处理可显著挽救因裸根移栽对桢楠或浙

江楠造成的胁迫作用。但是，在三种处理水平下，桢楠和浙江楠之间的渗透物质含量都没有显著差异，表明两个品种对裸根移栽的胁迫响应没有显著差异。

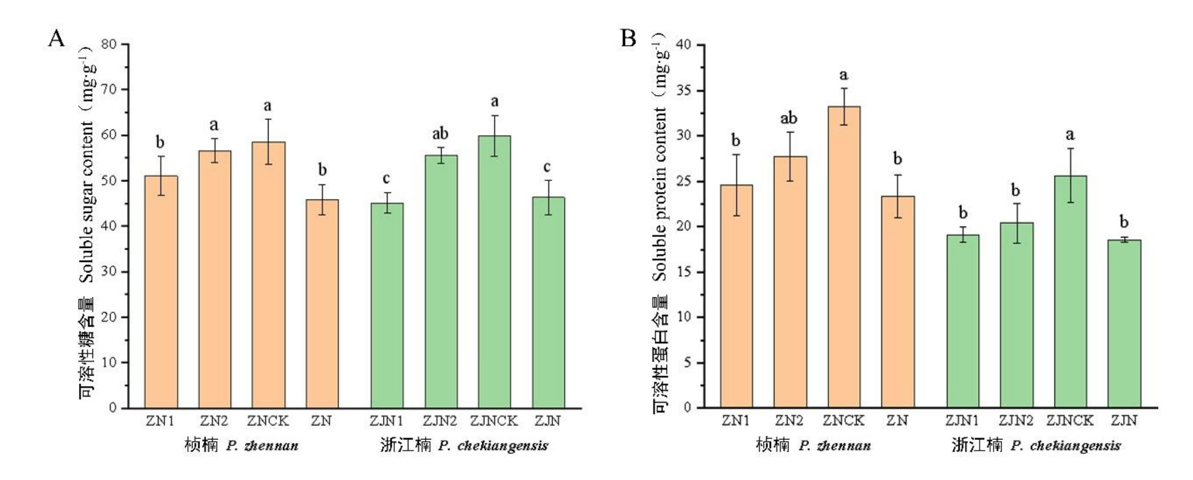


图 4 保水剂和 ABT 联合处理对对桢楠（ZN）和浙江楠（ZJN）裸根苗移栽后可溶性糖（**A**）和可溶性蛋白（**B**）含量的影响

Fig.4 Effects of combined treatment of super-absorbent polymer and ABT on contents of soluble sugar (**A**) and soluble protein (**B**) in bare-root transplanted of *Phoebe zhennan* and *P. chekiangensis*

2.5 保水剂和 ABT 联合处理后各生理指标的差异系数

为更好地研究保水剂和 ABT 联合对桢楠和浙江楠裸根苗移栽后的恢复情况，向该研究中引入差异系数（*R*）用于评价各项生理指标和内源激素含量的变化。如表 2 所示，桢楠各个指标中，除 ZR 和 IAA 两个指标之外，其余指标的 *R* 值均符合 ZN1＜ZN2＜ZNCK 的排序，这表明 ZN1 处理下的桢楠裸根移栽苗的生理状态更接近正常植株。

此外，在浙江楠中也观察到类似的结果，除 ZR 指标之外，其余指标的 *R* 值均符合 ZJN1＜ZJN2＜ZJNCK 的排序（表 2）。这表明 ZJN1 水平的保水剂和 ABT 联合处理最有利于浙江楠裸根移栽苗的生理机能恢复。

表 2 保水剂和 ABT 联合处理后桢楠（ZN）和浙江楠（ZJN）裸根苗移栽各生理指标差异系数（*R*）

Table 2 Restitution coefficient (*R*) of physiological indexes in leaves of combined treatment of super-absorbent polymer and ABT in *Phoebe zhennan* and *P. chekiangensis*

	差异系数 Restitution coefficient（*R*）					
指标	桢楠 *P. zhennan*			浙江楠 *P. chekiangensis*		
Index	ZN1	ZN2	ZNCK	ZJN1	ZJN2	ZJNCK
SS	0.122	0.195	0.277	0.036	0.206	0.290
SP	0.144	0.251	0.420	0.051	0.097	0.383
GA_3	0.068	0.022	0.100	0.067	0.101	0.147
ABA	0.297	0.425	1.073	0.435	0.726	0.968
ZR	0.062	0.048	0.140	0.103	0.053	0.129
IAA	0.065	0.059	0.069	0.093	0.146	0.167
IAA/ABA	0.221	0.324	0.537	0.368	0.502	0.571
Hor/ABA	0.239	0.321	0.549	0.367	0.482	0.566
CHL	0.055	0.129	0.301	0.189	0.310	0.353

CAR	0.062	0.139	0.286	0.112	0.238	0.277

注：**SS**. 可溶性糖；**SP**. 可溶性蛋白；**Hor**. (GA3+ZR+IAA)/ABA；**CHL**. 叶绿素含量；**CAR**. 类胡萝卜素含量；**GA_3**. 赤霉素；**ABA**. 脱落酸；**ZR**. 玉米素；**IAA**. 生长素；**ZN**. 桢楠；**ZJN**. 浙江楠

Note: **SS**. Soluble sugar; **SP**. Soluble protein; **Hor**. (GA_3+ZR+IAA)/ABA; **CHL**. Chlorophyll; **CAR**. Carotenoids; **GA_3**. Gibberellic acid; **ABA**. Abscisic acid; **ZR**. Zeatin; **IAA**. Auxin; **ZN**. *Phoebe zhennan*; **ZJN**. *P. chekiangensis*.

2.6 保水剂和 ABT 联合处理后各生理指标综合评价

在各项指标差异系数 *R* 值的基础上，向该研究引入模糊数学隶属函数对桢楠和浙江楠裸根苗移栽后的各个指标进行综合评价，以进一步全面探究保水剂和 ABT 联合处理的影响。如表 3 所示，桢楠中 ZN1 水平保水剂和 ABT 联合处理下各项指标 R 值的隶属函数 *U* 值最小，其次是 ZN2 水平，CK 组 *U* 值最大，这表明 ZN1 处理组的桢楠幼苗裸根移栽后的恢复情况最好，其次是 ZN2 处理组。

此外，浙江楠中，在 ZJN2 水平 *U* 值最小，其次是 ZJN1，CK 组 *U* 值最大（表 4）。表明 ZJN2 水平处理最有利于浙江楠幼苗裸根移栽后的生长恢复，ZJN1 水平处理部分恢复浙江楠幼苗的活力，而 CK 组恢复力最弱。

最后，在处理 1 和处理 2 水平中，桢楠的隶属函数远小于浙江楠，即 ZN1<ZJN1，ZN2<ZJN2。这表明两种水平的保水剂和 ABT 联合处理下桢楠幼苗的恢复能力均强于浙江楠。

表 3 保水剂和 ABT 联合处理下桢楠（ZN）各指标的隶属函数值 *U*

Table 3 Comprehensive indicator value of sunordination fuction *U* of combined treatment of super-absorbent polymer and ABT in *Phoebe zhennan*

桢楠 *P. zhennan*	隶属函数值 *U*			平均值 Average	排名 Rank
	U (1)	*U* (2)	*U* (3)		
ZN1	0.000	0.752	0.000	0.251	1
ZN2	0.187	0.790	0.013	0.330	2
ZNCK	0.955	1.000	0.437	0.797	3

表 4 保水剂和 ABT 联合处理下浙江楠（ZJN）各指标的隶属函数值 *U*

Table 4 Comprehensive indicator value of sunordination fuction *U* of combined treatment of super-absorbent polymer and ABT in *Phoebe chekiangensis*

浙江楠 *P. chekiangensis*	隶属函数值 *U*			平均值 Average	排名 Rank
	U (1)	*U* (2)	*U* (3)		
ZJN1	0.160	0.421	1.000	0.527	2
ZJN2	0.610	0.000	0.021	0.210	1
ZJNCK	1.000	0.521	0.236	0.586	3

3 讨论

桢楠和浙江楠是国家 II 级保护植物，为我国渐危种。据文献报道，保水剂和 ABT 的作用效果一致，均可促进植物移栽成活，李红晓证实保水剂和 ABT 联合处理可以促进木兰、柳树和圆柏的移栽后生长和抗寒性（李红晓，2013）。此外，研究表明 ABT 处理和保水剂联合处理能显著提高桢楠和浙江楠同科属植物，闽南楠幼苗的移栽成活率（刘大辉等, 2018）。与此结果一致，该文发现保水剂和 ABT 联合处理可以提高桢楠和浙江楠裸根苗移栽的成活率，促进移栽后的幼苗生长和恢复，并且不同浓度的效果具有差异性。以上结果表明保水剂和 ABT 联合使用对桢楠和浙江楠裸根苗具有保护作用，有利于促进移栽后的恢复和生长。

在植物移栽过程中，植物根系不可避免地受到损伤，导致移栽过程中苗木的各项生理指标均会发生变化。因此，监测植株生理指标的改变可以有助于了解植物的生长状况。据文献

报道，在植物移栽初期，植株受到胁迫其叶片叶绿素含量也会降低，同时类胡萝卜素含量也下降了（宋鹏和丁彦芬, 2019）。这些结果显示，幼苗移栽后叶片中叶绿素含量和类胡萝卜素含量下降，同时也放映了植物移栽面临的胁迫对植株产生了不良影响。因此，有效的植物保护剂应能起到提高植物叶片中叶绿素含量和类胡萝卜素含量的效果。例如，研究发现保水剂处理的定植后的非洲菊叶片中叶绿素的含量随着浓度的增加而逐渐提高，ABT 处理后同样对非洲菊的叶绿素含量具有促进作用（孟庆玲, 2011）。与此结论相符，该文发现移栽后桢楠和浙江楠叶绿素含量和类胡萝卜素含量均显著下降，暗示移栽面临的胁迫对植株产生了不良影响，而保水剂和 ABT 联合处理能提高移栽幼苗的光和色素产量，恢复部分光合作用。

此外，植物内源激素对植物各个阶段的生长发育都不可或缺，且不同激素一直处于动态平衡和协同作用，且植物内源激素对环境变化比较敏感，在应对胁迫条件时，植物体内抑制生长的 ABA 含量升高，促进生长的 IAA 和 ZR 等激素含量的下降，必然导致（GA_3+ZR+IAA）/ABA 和 IAA/ABA 比值的下降（Altuntaş, 2015; 陈昕钰等, 2019）。陈博文等(2013)发现无论是组培苗还是实生苗，移栽后面临干旱胁迫时 ABA/(GA_3+ZR+IAA)的比值呈升高趋势，IAA/ABA 比值的下降明显，提示植物生长受限。类似的，干旱胁迫也会导致苹果根系中 ABA 的含量也大幅度增加（赵领军和赵善仓，2007）。然而，遗憾的是，目前关于珍稀苗木桢楠和浙江楠移栽的相关研究较少，而深入移栽后幼苗内源激素含量变化的研究也非常有限。该研究揭示，裸根苗移栽后两组激素比值显著下降，保水剂和 ABT 联合处理后激素比值上调，且 ZN1 或 ZJN1 浓度处理时更显著。以上表明保水剂和 ABT 可以很好地恢复桢楠和浙江楠移栽后的生长，且 ZN1 或 ZJN1 浓度的保护效果更好。

重要的是，植物是一个动态平衡的系统，单一因素或指标并不能准确反映植物的生理状态。因此，为了全面判断不同处理下桢楠和浙江楠裸根苗移栽后的恢复情况，可引入差异系数和模糊函数对不同指标进行综合处理与评价。例如，符裕红等（2006）利用隶属函数综合评定了广玉兰移栽后对光照的适应性；王志泰等（2013）利用隶属函数判断了不同品种胡枝子的抗旱性。这些研究表明隶属函数用于评估多项综合指标对植物特性的影响具有较高的说服力。该文利用隶属函数发现无论是桢楠还是浙江楠，保水剂和 ABT 处理均有利于桢楠和浙江楠幼苗裸根移栽后的恢复，这支持了前文的结论。有趣的是，该研究中桢楠的隶属函数均小于浙江楠，表明在相同情况下，桢楠对裸根移栽造成的胁迫具有更强的适应性。因此，依据隶属函数的结果，该文认为园林应用中，为提高苗木移栽成活，降低园林造景成本，可优先选择移植桢楠。

总之，在桢楠和浙江楠裸根苗移栽过程中使用保水剂和 ABT 处理更有利于幼苗存活和恢复。该研究初步探讨了保水剂和 ABT 联合作用对桢楠和浙江楠裸根苗移栽后的促成活和促恢复的作用，其具体作用方式仍有待进一步研究。

参考文献：

ALTUNTAS H, 2015. Determination of gibberellic acid (GA_3)-induced oxidative stress in a model organism *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. Environ Entomol, 44(1): 100-105.

CAO Y, XU LM, WANG JY, et al., 2019. Effects of super-absorbent polymer on the germination, the morphological characteristics and drought resistance of the seedlings of *Cynodon dactylon*[J] Pratac Sci, 36(1): 142-151. [曹昀，许令明，王佳艺，等，2019. 保水剂对狗牙根匍匐茎萌发、幼苗形态特征及抗旱性的影响[J]. 草业科学，36(1)：142-151.]

CHEN BW, LIU HL, CAI L, et al., 2013. Effects of drought stress on endogenous hormones contents in tissue culture seedling and seed seedling of *Camellia oleifera* [J]. Econ For Res, 31(2): 60-64. [陈博雯，刘海龙，蔡玲，等，2013. 干旱胁迫对油茶组培苗与实生苗内源激素含量的影响[J]. 经济林研究，31(2)：60-64.]

CHEN XY, CHEN MX, YANG Y, et al., 2019. Relationship between changes of endogenous hormones anddevelopment of endosperm in wheat caryopsis under drought stress. [J] J Wheat Barley Crops, 39 (4): 89-97. [陈昕钰，陈铭鑫，杨阳，等，2019．干旱胁迫下小麦颖果内源激素的变化及其与胚乳发育的关系[J]．麦类作物学报，39(4)：89-97.]

CUI AJ, 2011. Application of Water Retaining Agent to the Fruit Forest Seedlings [J]. Hortic Seed, 11(1): 33-38.

FU YH, XIE SX, XUE YS, 2006. Effect of different light intensities on growth of 1-year *Magnolia grandiflora* transplants [J]. J Mt Agric Biol, 25(5): 394-398. [符裕红，谢双喜，薛于山，2006．不同光照对广玉兰 1 年生移栽苗的生长影响[J]．山地农业生物学报，25(5)：394-398．]

HUANG MX, ZOU SQ, CHEN L, et al., 2013. Effect of appling artificial microbial agents on *Euscaphis konishii* seedings transplant and growth [J]. J Fujian Coll For, 33(1):25-27. [黄铭星，邹双全，陈琳，等，2013．施用人工菌剂对圆齿野鸦椿幼苗移栽生长的影响[J]．福建林学院学报，33(1)：25-27.]

LI HX, 2013. The effects of ABT rooting powder and super-absorbent polymer on growth and frost hardiness of three ornamental trees after transplanting [J]. Hebei: Agricultural University of Hebei: 1-46. [李红晓，2013．ABT 生根粉和保水剂对三种观赏树木移栽后生长和抗寒性的影响［D］．石家庄：河北农业大学：1-46.]

LI Q, 2016. Factors and countermeasures affecting the survival rate of garden seedling transplanting [J]. Mod Hortic, 3 (6): 26-28.[李强，2016．影响园林苗木移栽成活率的因素及对策[J]．现代园艺，3(6)：26-28.]

LIU DF, FEI YJ, KUANG HL, et al., 2018. Research progress in key techniques of transplanting naked root of *Phoebe* [J]. Hubei For Sci Technol, 47(1): 10-13. [刘大辉，费永俊，况红玲，等，2018．闽楠裸根移栽关键技术研究[J]．湖北林业科技，47(1)：10-13．]

LIU ZX, FEI YJ, 2011. Current status and countermeasures for conservation of *Phoebe* germplasm resources in Chinese [J]. J Yangtze Univ (Nat Sci Ed), 8(5): 221-223. [刘志雄，费永俊, 2011．我国楠木类种质资源现状及保育对策[J]．长江大学学报(自科版)，8(5)：221-223.]

MENA-PETITE A, LACUESTA M, MUOZ-RUEDA A, 2006. Ammonium assimilation in *Pinus radiata* seedlings: effects of storage treatments，transplanting stress and water regimes after planting under simulated field conditions [J]. Environ Exp Bot, 55(1-2): 1-14.

MENG QL, 2011. Study on factors influencing the survival rate of matric culture of *Chrysanthemum* transplanting [D]. Yangling: Northwest A & F University: 1-68. [孟庆玲，2011．影响基质培非洲菊移栽成活率的因素研究［D］．杨凌：西北农林科技大学：1-68.]

NAN CH, LIN JY, XUE XM, 2018. Landscape application and development of *Phoebe* [J]. Landscape Architect, 26(8): 42-44. [南程慧，林径宇，薛晓明，2018. 楠木的园林应用及开发[J]. 园林，26(8)：42-44.]

NOWAK J, SHULAEV V, 2003. Priming for transplant stress resistance in In vitro propagation [J]. Vitro Cell Dev Biol Plant, 39(2): 107-124.

SHAN H W, YIN F N, FENG S X, 2016. Bare-root transplantation of perennial *Cinnamomum camphora* seedling[J]. For Ecol, 6(5): 34. [单和卫，尹丰年，冯士兴，2016．多年生香樟苗裸根移栽试验[J]．林业与生态，6(5)：34.]

SONG P, DING YF, 2019. Research progress on drought resistance of the genus *Eustachian* [J]. Jiangsu Agric Sci, 47(3): 11-15. [宋鹏，丁彦芬，2019．卫矛属植物抗旱性研究进展 [J]．江苏农业科学，47(3)：11-15.]

SUYALAQIQIGE, FAN MS, JIA SS, et al., 2019. Effects of drought stress on endogenous hormone

content in transplanted tissue culture potato seedlings [J]. Agric Res Arid Areas, 37(1): 227-232. [苏亚拉其其格，樊明寿，贾沙沙，等，2019．干旱胁迫对马铃薯移栽组培苗内源激素含量的影响[J]．干旱地区农业研究，37(1)：227-232.]

SUN HL, ALT, WANG HM, 2012. Research on seedling transplanting technology of *Ceratoides arborescens* [J]. Inner Mongolia Grass Ind, 22(4)：40-47. [孙海莲，阿拉塔，王海明，2010．华北驼绒藜育苗移栽技术研究[J]．内蒙古草业，22(4)：40-47.]

WANG XG, JIE H, LI XY, et al., 2013. Analysis on the changes of endogenous hormones contents in apple seedling leaves by HPLC method[J]. J Hebei Agri Sci, 17(5):7-10.

WANG XQ, 2015. Principle and technology of plant physiological and biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press: 2015. [王学奎，2015．植物生理生化实验原理和技术[M]．北京：高等教育出版社: 2015.]

WANG XY, ZHANG Y, QIN JY, et al., 2018. Effect of plant growth regulator on growth and development of sweet cherry transplanting seedlings [J]. Jiangsu Agric Sci, 46(10): 130-133. [王秀梅，张云，秦景逸，等，2018．植物生长调节剂对甜樱桃移栽苗生长发育的影响[J]．江苏农业科学，46(10)：130-133.]

WANG ZT, MA R, MA YJ, et al., 2013. The drought resistance of 5 species of *Lespedeza* [J]. J Arid Land Resour Environ, 27(9): 119-123. [王志泰，马瑞，马彦军，等，2013．利用隶属函数法分析胡枝子抗旱性[J]．干旱区资源与环境，27(9)：119-123．]

WU LM, GUO W, WANG JL, 2007. Study on application of SAP and ABT root powder in afforestation [J]. Tianjin Agric For Sci Technol, 195(1): 34-35. [吴连明，郭伟，王景利，2007．SAP 保水剂与 ABT 生根粉在造林上的应用研究[J]．天津农林科技，195(1)：34-35.]

YAO YL, YANG GZ, SONG Z, et al., 2008. Effect of seedling strengthening agent on soluble sugar and protein content dynamic change of *Brassica napus* seedlings [J]. Hubei Agric Sci, 6(3): 283-286. [姚艳丽，杨国正，宋峥，等，2008．壮苗素对油菜幼苗可溶性糖和蛋白质含量的影响[J]．湖北农业科学，6(3)：283-286.]

ZHANG SZ, JIANG M, 2014. Preliminary study on bare root transplanting of wild big *Camellia chekiangoleosa*[J]. Guangdong For Sci Technol, 30(4): 79-83. [张苏州，蒋明，2014．野生浙江红山茶大树裸根移栽方法初探[J]．广东林业科技，30(4)：79-83.]

ZHAO LJ, ZHAO SC, 2007. Content changes of endogenesis hormone in apple root under drought press [J]. Shandong Agric Sci, 2(5): 48-49. [赵领军，赵善仓，2007. 干旱胁迫下苹果根系内源激素含量的变化[J] . 山东农业科学，2(5)：48-49.]

ZHU L, HE Q, MA K, et al., 2017. Effects of rooting powder concentration and girdling width on shoot rooting during *Ginkgo biloba* air layering [J]. Nonwood For Res, 13(4): 37.